

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

23 MRT 2004

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 3.0 APR 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

103 15 815.4

Anmeldetag:

07. April 2003

Anmelder/Inhaber:

ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung:Verfahren zur Ermittlung der individuellen Ansteuer-
spannung eines piezoelektrischen Elements**IPC:**

H 02 N 2/06

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart

Verfahren zur Ermittlung der individuellen Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der individuellen Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements.

Derartige piezoelektrische Elemente, werden beispielsweise als Piezo-Injektoren in Einspritzsystemen für Kraftfahrzeuge verwendet. Sie werden auf eine bestimmte Spannung geladen, welche proportional einem Hub des piezoelektrischen Elements ist. Durch diesen Hub wird, übersetzt mittels eines hydraulischen Kopplers, ein Einspritzventil betätigt. Um die volle Funktionalität eines derartigen Piezo-Injektors zu gewährleisten, muß die Ansteuerspannung für jeden Betriebspunkt, zum Beispiel im Falle eines Einspritzsystems für ein Kraftfahrzeug für jeden Druck im Common-Rail-System, für jede Temperatur und dergleichen, so gewählt werden, daß das Schaltventil öffnet und über die Dauer des Einspritzzyklus in Offenstellung verbleibt.

Die Ansteuerspannung, die bei jedem piezoelektrischen Element individuell ist (individuelle Ansteuerspannung) wird beispielsweise bei dem aus der DE 100 32 022 A1 bekannten Verfahren dadurch bestimmt, daß vor einem Einspritzvorgang indirekt der Druck in dem hydraulischen Koppler gemessen wird. Durch den von dem hydraulischen Koppler

in dem Piezo-Aktor induzierten Druck wird auf eine entsprechende Piezo-Spannung im Aktor geschlossen.

Es sind darüber hinaus auch Verfahren bekannt, bei denen die Spannung in bestimmten Bereichen variiert wird und gleichzeitig die Einspritzmenge erfaßt wird. Aus der erfaßten Einspritzmenge wird auf die Funktionsfähigkeit des piezoelektrischen Elements geschlossen.

Ein Verfahren und eine Schaltung zur zeitabhängigen Messung der Spannung entlang eines piezoelektrischen Elements geht beispielsweise aus der EP 1 138 902 A1 hervor.

Bei der Herstellung von Piezo-Elementen, die in Common-Rail-Dieseleinspritzsystemen verwendet werden, ist es erforderlich, daß bei der Herstellung derartiger Piezo-Common-Rail-Injektoren sehr enge Toleranzen eingehalten werden, um möglichst große Ausbringungen in der Serie zu erzielen. Von großer Bedeutung ist hierbei das Zusammenspiel des Piezo-Aktors und der Hydraulik, beispielsweise in Form des hydraulischen Kopplers. Da in derartigen Injektoren aus Kostengründen keine Sensoren eingesetzt werden können, sind nur wenig Informationen über das dynamische Verhalten von Piezo-Injektoren verfügbar.

Aufgrund der Alterung entstehende Änderungen der Piezo-Aktoren, beispielsweise eine Alterung der Piezo-Keramik oder das Einschlagen von Ventilsitzen können bislang nur durch vorab definierte Kennfelder, die beispielsweise in einem Steuergerät einer Brennkraftmaschine abgelegt sind, zumindest teilweise kompensiert werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, die individuelle Ansteuerspannung von Piezo-Elementen, insbesondere Piezo-Injektoren, die insbesondere in Diesel-Common-Rail-Einspritzsystemen verwendet werden auf technisch möglichst einfache und kostengünstige Weise zu ermitteln. Dabei soll auch die Dynamik einer sich über die Lebensdauer des Piezo-Injektors verändernden individuellen Ansteuerspannung berücksichtigt werden.

Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Bestimmung der individuellen Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Grundidee der Erfindung ist es, den Piezo-Aktor und damit die Piezo-Keramik selbst als Sensor zu verwenden, wodurch zusätzliche Sensoren überflüssig werden. Es wird vielmehr der Spannungsabfall an dem piezoelektrischen Element nach einem Ladevorgang erfaßt und aus diesem Spannungsabfall selbst auf die individuelle Ansteuerspannung des piezoelektrischen Elements geschlossen.

Bei einer sehr vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens werden die an dem piezoelektrischen Element anliegende Spannung unmittelbar nach einem Ladevorgang und die an dem piezoelektrischen Element anliegende Spannung unmittelbar vor einem dem Ladevorgang folgenden Entladevorgang erfaßt und voneinander subtrahiert und aus dieser Differenz auf die individuelle Ansteuerspannung des piezoelektrischen Elements geschlossen. Hierdurch kann eine aufwendige und kostenintensive Ermittlung der individuellen Ansteuerspannung beispielsweise durch eine Variation der Ansteuerspannung entfallen.

Die individuelle Ansteuerspannung wird dabei vorteilhafterweise einer Kennlinie entnommen, die den Zusammenhang zwischen der Differenz und der individuellen Ansteuerspannung repräsentiert.

Diese Kennlinie wird vorzugsweise experimentell aufgrund einer großen Zahl von Messungen an unterschiedlichen piezoelektrischen Elementen ermittelt und beispielsweise in einem Steuergerät eines Kraftfahrzeugs gespeichert.

Eine andere sehr vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, daß die an dem piezoelektrischen Element während des Ladevorgangs anliegende Spannung iterativ solange erhöht wird, bis die an dem piezoelektrischen Element unmittelbar nach dem Ladevorgang anliegende Spannung nicht von der an dem piezoelektrischen Element unmittel-

bar vor dem darauffolgenden Entladevorgang anliegende Spannung abweicht und daß die so ermittelte Spannung als individueller Spannungsbedarf gewertet wird.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, daß das piezoelektrische Element mit nur einer Spannung beaufschlagt wird und dabei die Ladezeit iterativ solange erhöht wird, bis die an dem piezoelektrischen Element unmittelbar nach dem Ladevorgang anliegende Spannung nicht von der an dem piezoelektrischen Element unmittelbar vor dem Entladevorgang anliegenden Spannung abweicht und daß die so ermittelte Spannung als individuelle Ansteuerspannung gewertet wird. Vorzugsweise erfolgt die iterative Erhöhung der Spannung, mit der das piezoelektrische Element beaufschlagt wird, und die Erfassung der an dem piezoelektrischen Element unmittelbar vor dem Entladevorgang anliegenden Spannung bei niedrigen Drücken des einzuspritzende Fluids. Der Spannungsverlauf wird dabei vorzugsweise kontinuierlich an dem piezoelektrischen Element erfaßt.

Zeichnung

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung von Ausführungsbeispielen der Erfindung.

In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 den schematischen Aufbau eines aus dem Stand der Technik bekannten Einspritzventils;
- Fig. 2 schematisch die Spannung über der Ansteuerzeit beim Laden und Entladen eines piezoelektrischen Elements gemäß vorliegender Erfindung;
- Fig. 3 den Zusammenhang zwischen der Spannungsänderung und der individuellen Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements und

Fig. 4 schematisch zeitliche Spannungsverläufe zur Erläuterung der Erfassung der individuellen Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung ein aus dem Stand der Technik bekanntes Einspritzventil 1 mit einer zentralen Bohrung. Im oberen Teil ist ein Stellkolben 3 mit einem piezoelektrischen Aktor 2 in die zentrale Bohrung eingebracht, wobei der Stellkolben 3 mit dem Aktor 2 fest verbunden ist. Der Stellkolben 3 schließt nach oben hin einen hydraulischen Koppler 4 ab, während nach unten eine Öffnung mit einem Verbindungskanal zu einem ersten Sitz 6 vorgesehen ist, in dem ein Kolben 5 mit einem Ventilschließglied 12 angeordnet ist. Das Ventilschließglied 12 ist als doppelt schließendes Steuerventil ausgebildet. Es verschließt den ersten Sitz 6, wenn der Aktor 2 in Ruhephase ist. Bei Betätigung des Aktors 2, das heißt beim Anlegen einer Ansteuerspannung U_a an den Klemmen +, -, betätigt der Aktor 2 den Stellkolben 3 und drückt über den hydraulischen Koppler 4 den Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf einen zweiten Sitz 7. Unterhalb des zweiten Sitzes ist in einem entsprechenden Kanal eine Düsennadel 11 angeordnet, die den Auslauf in einem Hochdruckkanal (Common-Rail-Druck) 13 schließt oder öffnet, je nachdem, welche Ansteuerspannung U_a anliegt. Der Hochdruck wird durch das einzuspritzende Medium, beispielsweise Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor, über einen Zulauf 9 zugeführt, über eine Zulaufdrossel 8 und eine Ablaufdrossel 10 wird die Zuflußmenge des Mediums in Richtung auf die Düsennadel 11 und den hydraulischen Koppler 4 gesteuert. Der hydraulische Koppler 4 hat dabei die Aufgabe, einerseits den Hub des Kolbens 5 zu verstärken und andererseits das Steuerventil von der statischen Temperaturdehnung des Aktors 2 zu entkoppeln. Die Wiederbefüllung des Kopplers 4 ist hier nicht dargestellt.

Nachfolgend wird die Funktionsweise dieses Einspritzventils näher erläutert. Bei jeder Ansteuerung des Aktors 2 wird der Stellkolben 3 in Richtung des hydraulischen Kopplers 4 bewegt. Dabei bewegt sich auch der Kolben 5 mit dem Verschließglied 12 in Richtung auf den zweiten Sitz 7 zu. Über Leckspalte wird dabei ein Teil des im hydraulischen Kopplers 4 befindlichen Mediums, beispielsweise der Kraftstoff, herausgedrückt. Zwi-

schen zwei Einspritzungen muß daher der hydraulische Koppler 4 wiederbefüllt werden, um seine Funktionssicherheit zu erhalten.

Über den Zulaufkanal 9 herrscht ein hoher Druck, der beim Common-Rail-System beispielsweise zwischen 200 und 2000 bar betragen kann. Dieser Druck wirkt gegen die Düsennadel 11 und hält sie geschlossen, so daß kein Kraftstoff austreten kann. Wird nun infolge der Ansteuerspannung U_a der Aktor 2 betätigt und damit das Verschlußglied 12 in Richtung des zweiten Sitzes bewegt, baut sich der Druck im Hochdruckbereich ab und die Düsennadel 11 gibt den Einspritzkanal frei. Mit P_1 ist der sogenannte Kopplerdruck bezeichnet, wie er im hydraulischen Koppler 4 gemessen wird. Im Koppler 4 stellt sich ohne Ansteuerung U_a ein stationärer Druck P_1 ein, der beispielsweise 1/10 des Drucks im Hochdruckteil ist. Nach dem Entladen des Aktors 2 ist der Kopplerdruck P_1 näherungsweise 0 und wird durch Wiederbefüllung wieder angehoben.

Eine Längenänderung des piezoelektrischen Aktors 2 wird dadurch erreicht, daß der piezoelektrische Aktor 2 in einem ersten Zeitintervall Δt_1 mit einem Strom beaufschlagt wird. Das erste Zeitintervall Δt_1 ist der Ladevorgang des piezoelektrischen Aktors 2. In diesem Intervall wird der piezoelektrische Aktor 2 auf eine maximale Spannung U_{\max} aufgeladen. In einem weiteren Zeitintervall Δt_2 (siehe Fig. 2) findet der Entladevorgang des piezoelektrischen Aktors statt. In einem dritten Zeitintervall Δt_3 , das zwischen diesen beiden Intervallen liegt, wirkt der piezoelektrische Aktor 2 wie ein Sensor, bei dem jegliche Längen-/Kraftänderungen zu Spannungsänderungen führen. Der zeitliche Verlauf der Spannung im Intervall Δt_3 hängt nun davon ab, mit welcher Spannung der piezoelektrische Aktor 2 unmittelbar nach dem Ladevorgang, das heißt am Ende des Intervalls Δt_1 beaufschlagt wird. Es wurde in umfangreichen Meßreihen festgestellt, daß die Spannung kontinuierlich abnimmt, bis sie sich einer Spannung unmittelbar vor dem Entladevorgang, in Fig. 2 als U_{Regel} bezeichnet, asymptotisch nähert.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform wird nun die Spannungsdifferenz ΔU zwischen der Maximalspannung U_{\max} und der Spannung unmittelbar vor dem Entladevorgang U_{Regel} erfaßt. Diese Spannungsdifferenz resultiert daraus, daß der Stellkolben 3 nach dem Abschalten des Ladestroms noch einen Weg zurücklegt, da sich der piezoelektrische Aktor 2 weiter ausdehnt. Ist diese Spannungsdifferenz ΔU beispielsweise groß, so muß das

Schaltventil nach Abschalten des Ladestroms noch einen weiten Weg zurücklegen, wodurch die Spannung im sensorischen Bereich des piezoelektrischen Aktors 2 stärker sinkt, da sich der Aktor 2 weiter dehnt, als es bei einem Injektor der Fall ist, bei dem das Schließglied 12 sich durch den Stellkolben 3 sich schon sehr nahe an dem zweiten Sitz 7 befindet. In diesem Falle ist ΔU klein.

Es hat sich in Meßreihen gezeigt, daß die Spannungsdifferenz ΔU mit dem individuellen Spannungsbedarf des Injektors korreliert. Derartige piezoelektrische Aktoren 2 benötigen deshalb eine individuelle Ansteuerspannung U_a , weil der Sitzdurchmesser, der Aktorhub, die Reibung etc. Streuungen unterworfen sind, welche sich auf den Spannungsbedarf auswirken. Ist die Spannungsdifferenz ΔU groß, ist der Spannungsbedarf des piezoelektrischen Aktors größer als bei einer kleinen Spannungsdifferenz. Entsprechend verhält sich ein solches Einspritzventil bei Temperaturänderungen. Steigt die Temperatur, so erhöht sich der Spannungsbedarf und entsprechend erhöht sich die Spannungsdifferenz. Die individuelle Ansteuerspannung U_a wird nun dadurch ermittelt, daß die Spannungsdifferenz gemessen wird und hieraus beispielsweise aufgrund einer Kennlinie, wie in Fig. 3 dargestellt, die individuelle Ansteuerspannung U_a bestimmt wird. Hierdurch ist es mittels einer einzigen Messung, zum Beispiel während des Spülprozesses in der Serienfertigung der Einspritzventile 1 möglich, den individuellen Spannungsbedarf des Injektors zu bestimmen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung wird in Verbindung mit Fig. 4 nachfolgend näher erläutert.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel ist – wie vorstehend erwähnt – am Ende des Ladevorgangs die Ventilkugel 12 noch nicht am zweiten Sitz 7 angelangt. Die Ventilkugel 12 bewegt sich vielmehr weiter, der piezoelektrische Aktor 2 dehnt sich bei konstanter Ladung weiter aus, wodurch die Spannung wie schematisch in Fig. 2 dargestellt absinkt.

Eine weitere Ausgestaltung des Verfahrens sieht nun vor, die Spannung U_{\max} kontinuierlich solange weiter zu erhöhen, bis sie sich am Ende des Entladevorgangs nicht mehr ändert. Die Spannung wird dabei idealerweise bei niedrigen Drücken in kleinen Schritten erhöht. Hierdurch wird die Einspritzmenge nur sehr wenig beeinflusst, so daß der

Betrieb des Einspritzventils 1 nicht gestört wird. Sobald die an dem piezoelektrischen Element anliegende Spannung U_{\max} einen Wert angenommen hat, der dem individuellen Spannungsbedarf entspricht, ändert sich die Spannung im Intervall Δt_3 nicht mehr, so daß der Spannungsverlauf die in Fig. 4 schematisch dargestellte Trapezform annimmt. In diesem Falle entspricht die nach dem Ladevorgang an dem piezoelektrischen Aktor 2 anliegende Spannung U_{\max} dem individuellen Spannungsbedarf, der beispielsweise in einem Steuergerät gespeichert werden kann. Eine weitere Erhöhung der an dem piezoelektrischen Aktor 2 nach dem Entladevorgang anliegende Spannung U_{\max} würde nun an dem Spannungsverlauf nichts mehr ändern. Aus dem Spannungsbedarf kann nun beispielsweise über eine Kennlinie die individuelle Ansteuerspannung ermittelt werden, die zum Beispiel aus energetischen Gründen definiert verkleinert wird.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die an die piezoelektrischen Aktor anliegende Spannung U_{\max} konstant gehalten und die Ladezeit, das heißt die Größe des Intervalls Δt_1 variiert, das heißt insbesondere schrittweise erhöht, um den charakteristischen Punkt der Spannung, das heißt die Spannung zu ermitteln, bei der die nach dem Ladevorgang an den piezoelektrischen Aktor 2 anliegende Spannung sich im Intervall Δt_3 praktisch nicht mehr ändert, zu ermitteln.

Vorteilhaft bei sämtlichen vorbeschriebenen Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, daß die individuelle Ansteuerspannung U_a ohne zusätzliche Sensoren ermittelt werden kann und darüber hinaus auch Aussagen über das dynamische Verhalten des Einspritzventils 1 während dessen Betriebs erlaubt, denn wenn beispielsweise das Einspritzventil im charakteristischen Punkt betrieben wird, das heißt dann, wenn sich die an dem piezoelektrischen Aktor 2 nach dem Entladevorgang anliegende Spannung U_{\max} nicht mehr ändert, ist sichergestellt, daß die Ventilkugel 12 den zweiten Sitz 7 erreicht hat.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements, dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungsabfall an die piezoelektrischen Elemente nach einem Ladevorgang erfaßt wird und aus diesem Spannungsabfall auf die Ansteuerspannung des piezoelektrischen Elements geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die an dem piezoelektrischen Element anliegende Spannung unmittelbar nach dem Ladevorgang und die an dem piezoelektrischen Element anliegende Spannung unmittelbar vor einem darauffolgenden Entladevorgang erfaßt und voneinander subtrahiert werden und aus dieser Differenz auf die individuelle Ansteuerspannung des piezoelektrischen Elements geschlossen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die individuelle Ansteuerspannung aus einer Kennlinie entnommen wird, die den Zusammenhang zwischen der Differenz und der individuellen Ansteuerspannung repräsentiert.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennlinie experimentell aufgrund einer großen Zahl von Messungen an unterschiedlichen Aktoren ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die an dem piezoelektrischen Element während des Ladevorgangs anliegende Spannung iterativ solange erhöht wird, bis die an dem piezoelektrischen Element unmittelbar nach dem Ladevorgang anliegende Spannung nicht von einer an dem piezoelektrischen Element unmittelbar vor einem darauffolgenden Entladevorgang anliegende Spannung abweicht, und daß die so ermittelte Spannung als individueller Span-

nungsbedarf gewertet wird, woraus auf die individuelle Ansteuerspannung des piezoelektrischen Elements geschlossen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die iterative Erhöhung der Spannung, mit der das piezoelektrische Element beaufschlagt wird und die Erfassung der an dem piezoelektrischen Element abgreifbaren Spannung bei niedrigen Drücken des einzuspritzenden Fluids vorgenommen werden.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungsverlauf an dem piezoelektrischen Element kontinuierlich erfaßt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle der iterativen Erhöhung der Spannung, mit der das piezoelektrische Element beaufschlagt wird, das piezoelektrische Element mit nur einer Spannung beaufschlagt wird und dabei die Ladezeit iterativ so lange erhöht wird, bis die an dem piezoelektrischen Element unmittelbar nach dem Ladevorgang anliegende Spannung nicht von der an dem piezoelektrischen Element unmittelbar vor einem darauffolgenden Entladevorgang anliegenden Spannung abweicht.

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart

Verfahren zur Ermittlung der individuellen Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements

Zusammenfassung

Ein Verfahren zur Ermittlung der Ansteuerspannung eines piezoelektrischen Elements ist dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungsabfall an die piezoelektrischen Elemente nach einem Ladevorgang erfaßt wird und aus diesem Spannungsabfall auf die Ansteuerspannung des piezoelektrischen Elements geschlossen wird.

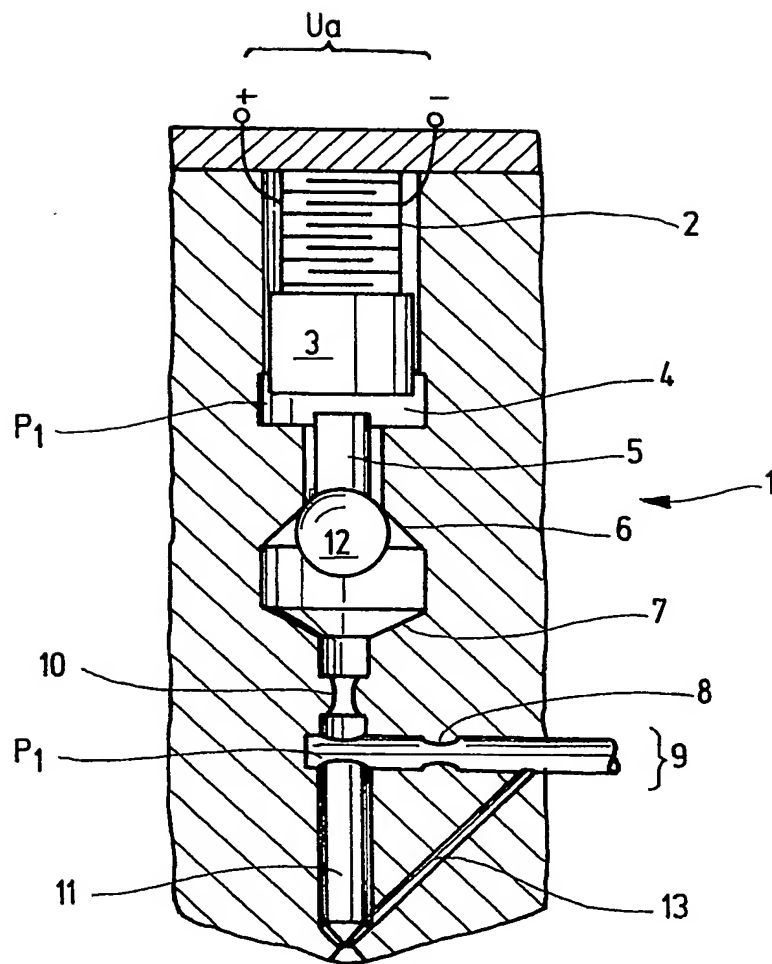


Fig.1 (Stand der Technik)

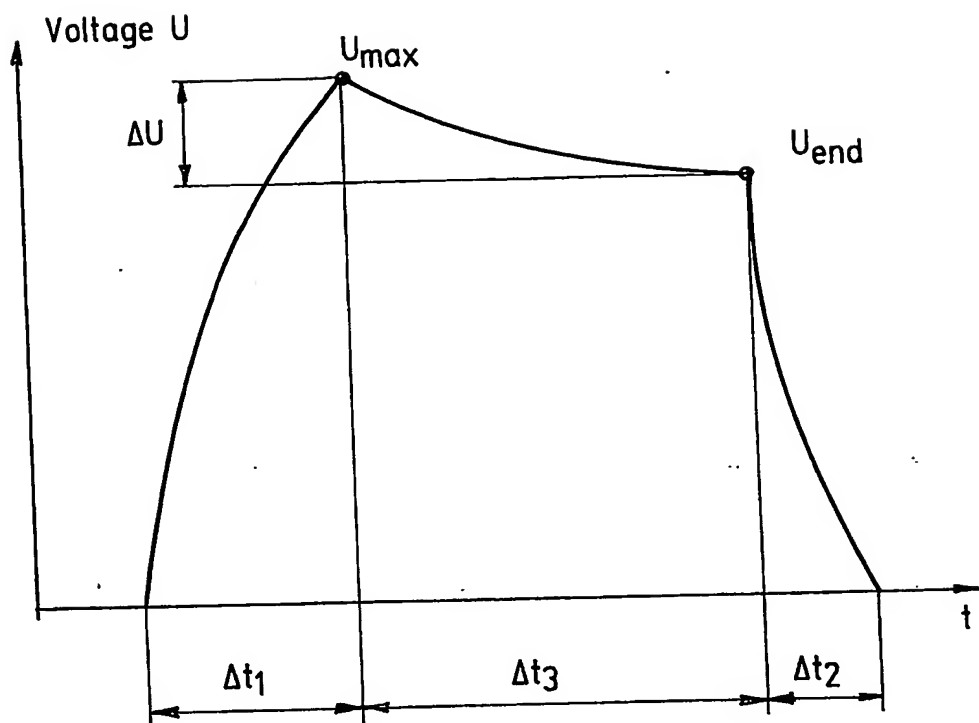


Fig.2

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\text{Regel}}$$

Korrelation

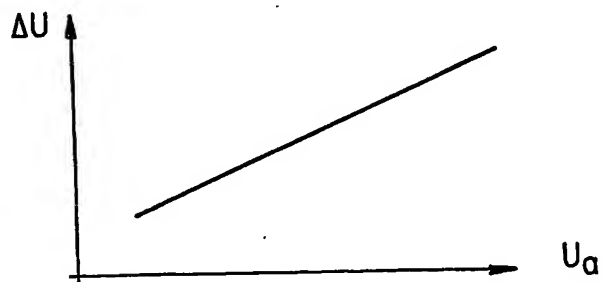


Fig.3

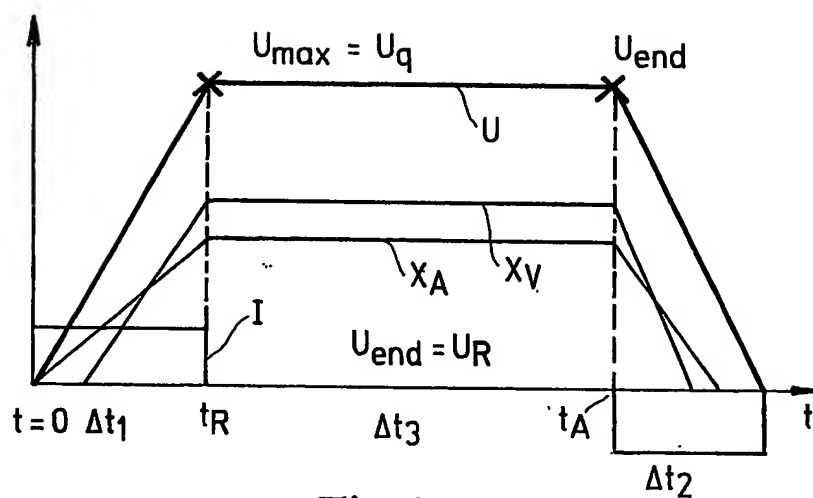


Fig.4